



---

## Chapter 6

# 대역폭 활용: 다중화와 확장 (Bandwidth Utilization: Multiplexing and Spreading)

# 6 장 다중화(Multiplexing)

---

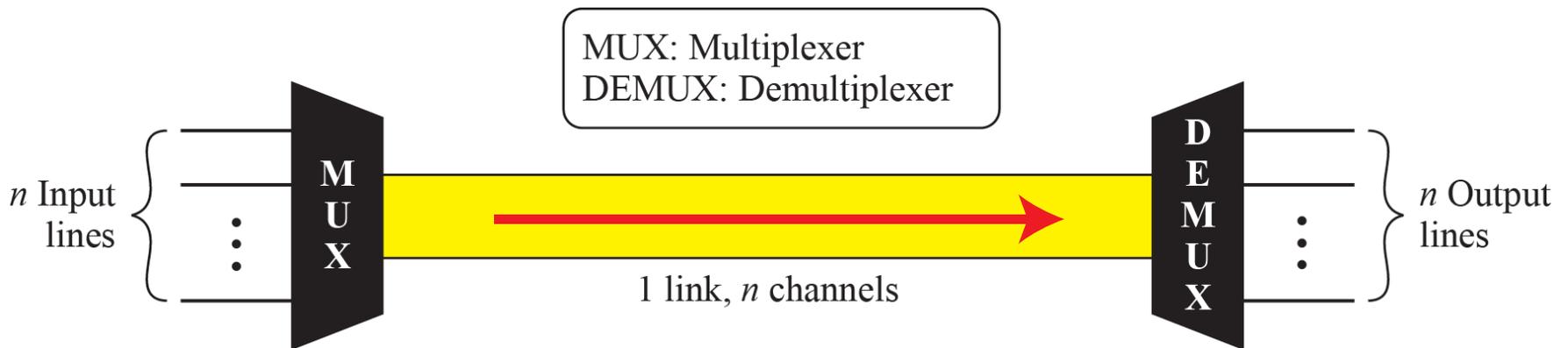
## 6.1 다중화

## 6.2 확산 대역 방식

# 6.1 다중화

## ■ 다중화 시스템 기본 형식

- ☞ 단일 데이터 링크를 통해 여러 개의 신호를 동시에 전송하기 위한 기술



## 6.1 다중화 (계속)

### ■ 다중화기(MUX, Multiplexer)

⇒ 전송 스트림을 단일 스트림으로 결합(many to one)

### ■ 역다중화기(DEMUX, Demultiplexer)

⇒ 스트림을 각각의 요소로 분리(one to many)

⇒ 전송 스트림을 해당 수신장치에 전달

### ■ 링크(Link)

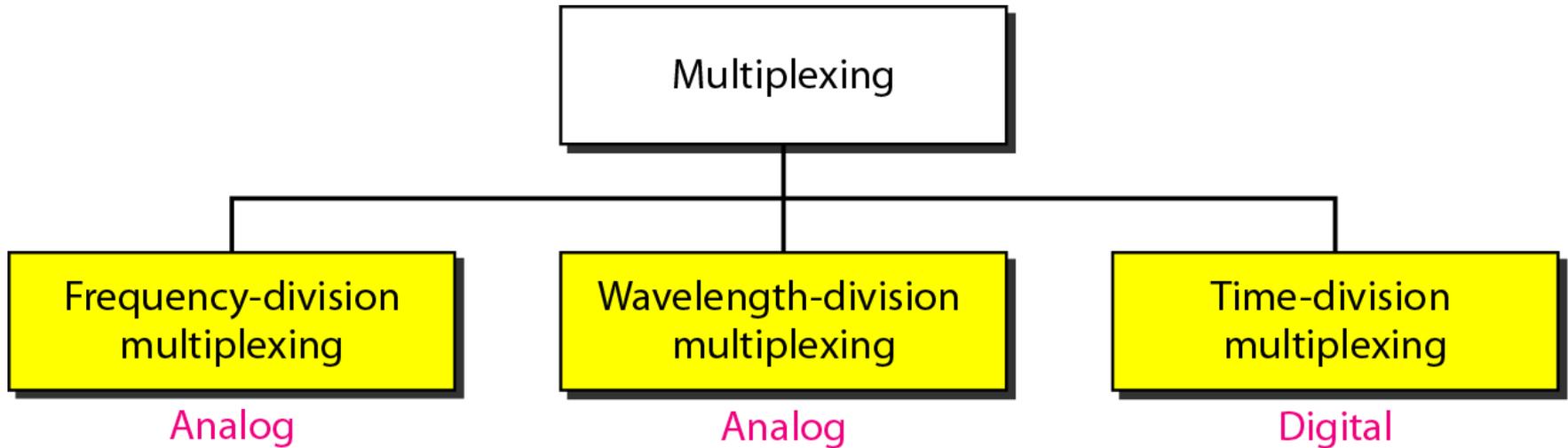
⇒ 물리적인 경로

### ■ 채널(Channel)

⇒ 한 쌍의 장치간에 전송을 위한 경로

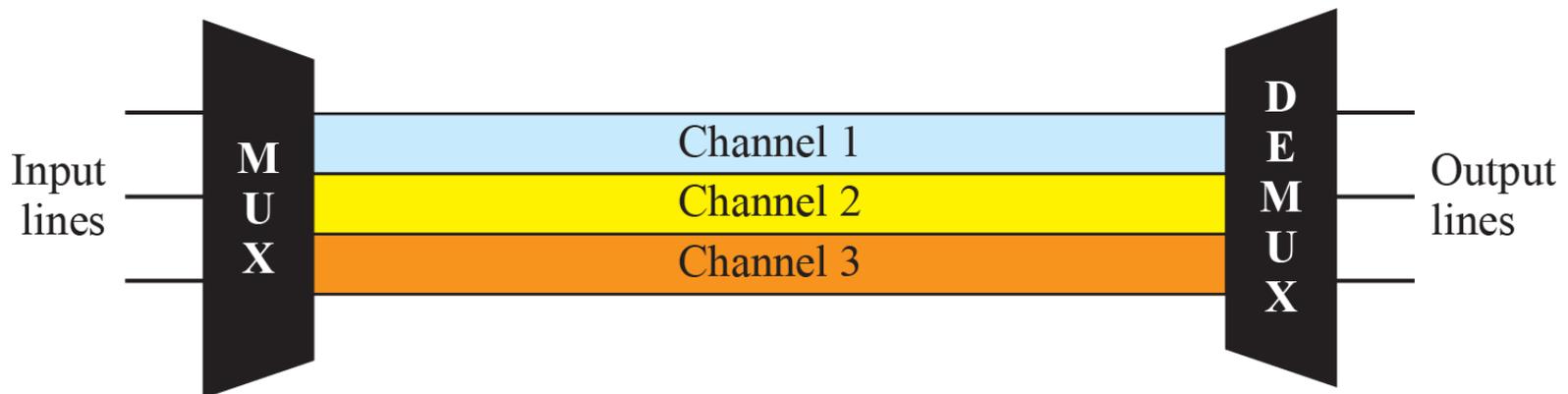
# 6.1 다중화 (계속)

## ■ 다중화의 범주



# 주파수 분할 다중화

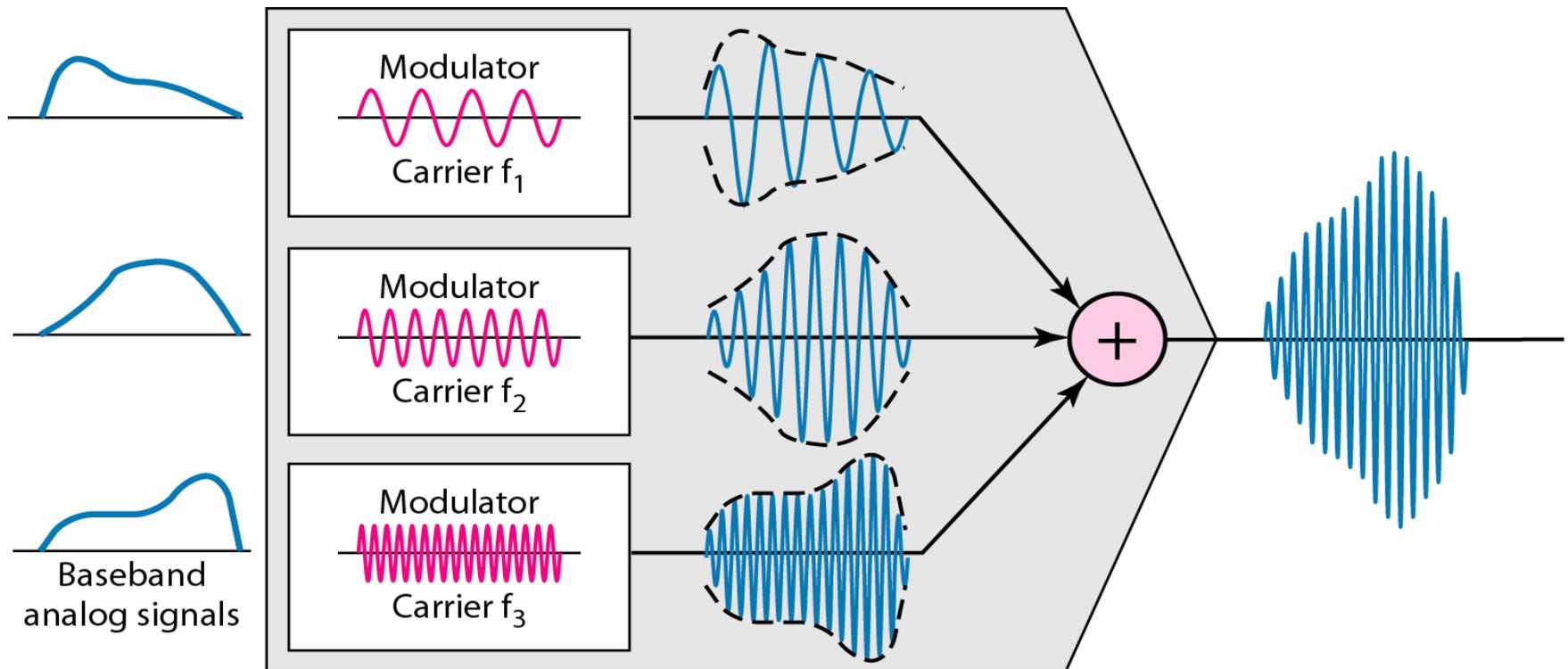
- FDM : Frequency-division Multiplexing
- 링크의 대역폭이 전송되는 조합 신호의 대역폭 보다 클 때 적용할 수 있는 아날로그 기술
- 신호가 겹치지 않도록 보호대역(guard band)만큼 떨어져 있어야 한다.



# 주파수 분할 다중화 (계속)

## □ FDM 처리 과정

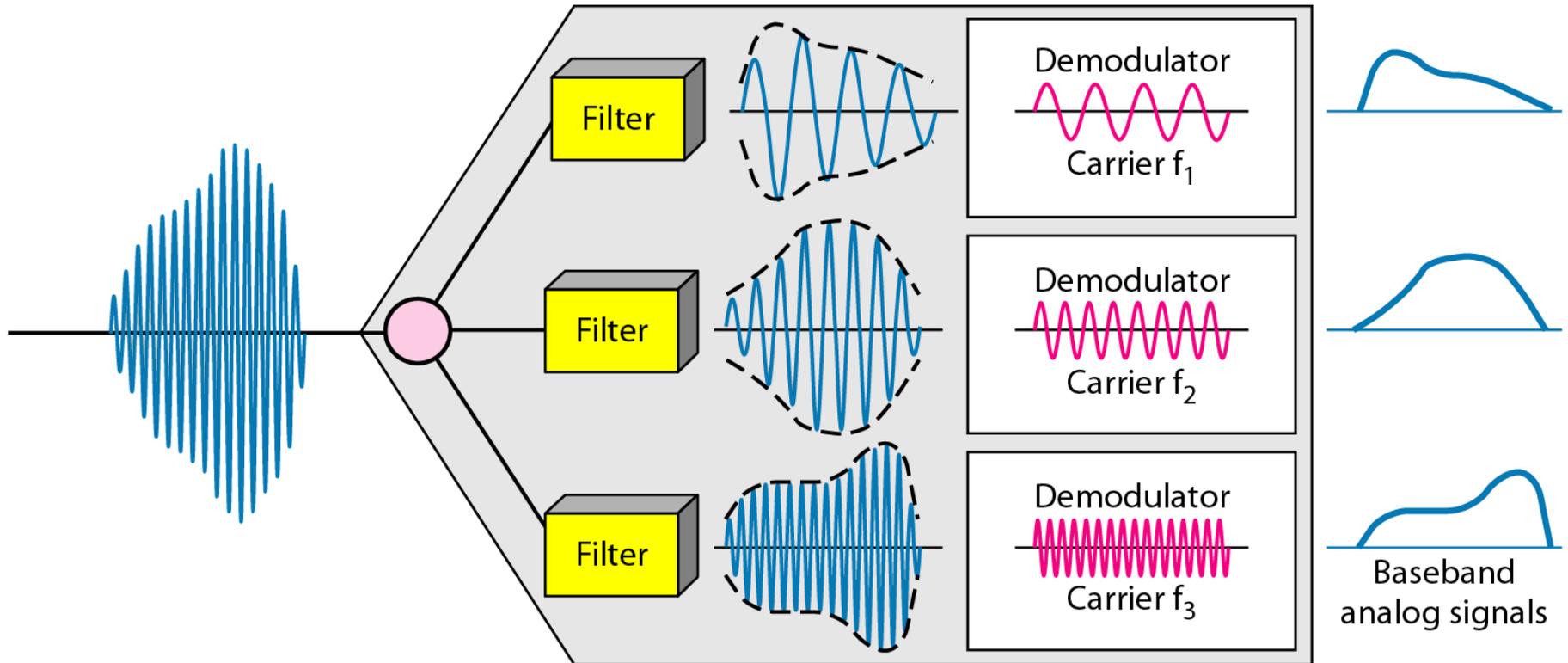
- ⇒ 각 전화기는 비슷한 범위의 주파수 대역의 신호 발생
- ⇒ 이 신호는 서로 다른 반송 주파수로 변조된다( $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ )



# 주파수 분할 다중화 (계속)

## □ 다중화 풀기(Demultiplexing)

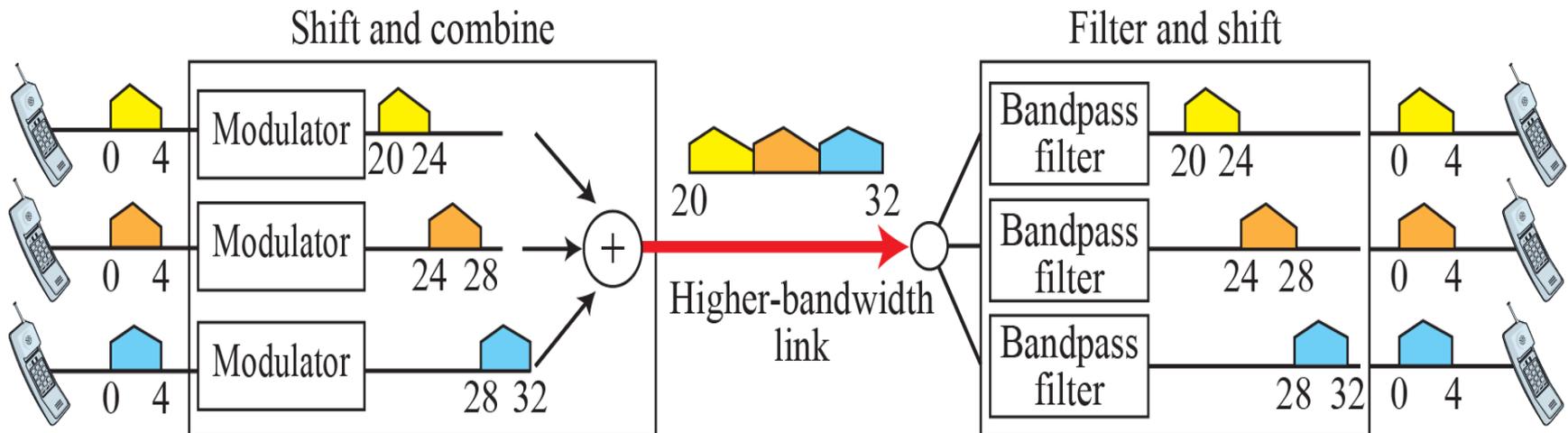
↻ 개개의 신호를 분리하여 수신기에 전달

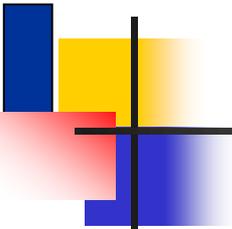


# Example

음성 채널이 4 kHz의 대역폭을 차지한다고 가정하자. 주파수 20 kHz에서부터 32 kHz에 걸친 대역폭을 사용하는 링크를 통해서 개의 음성 채널을 합해서 보낸다고 하자. 주파수 영역을 이용하여 형상을 보여라. 보호 대역은 없는 것으로 간주한다.

## Solution





## *Example*

각각 100 kHz의 대역폭을 갖는 다섯 개의 채널을 함께 다중화해서 보낸다. 만일 서로 간의 간섭을 피하기 위해 채널 사이에 10 kHz의 보호 대역이 필요하다면 최소 얼마만큼의 대역폭이 필요한가?

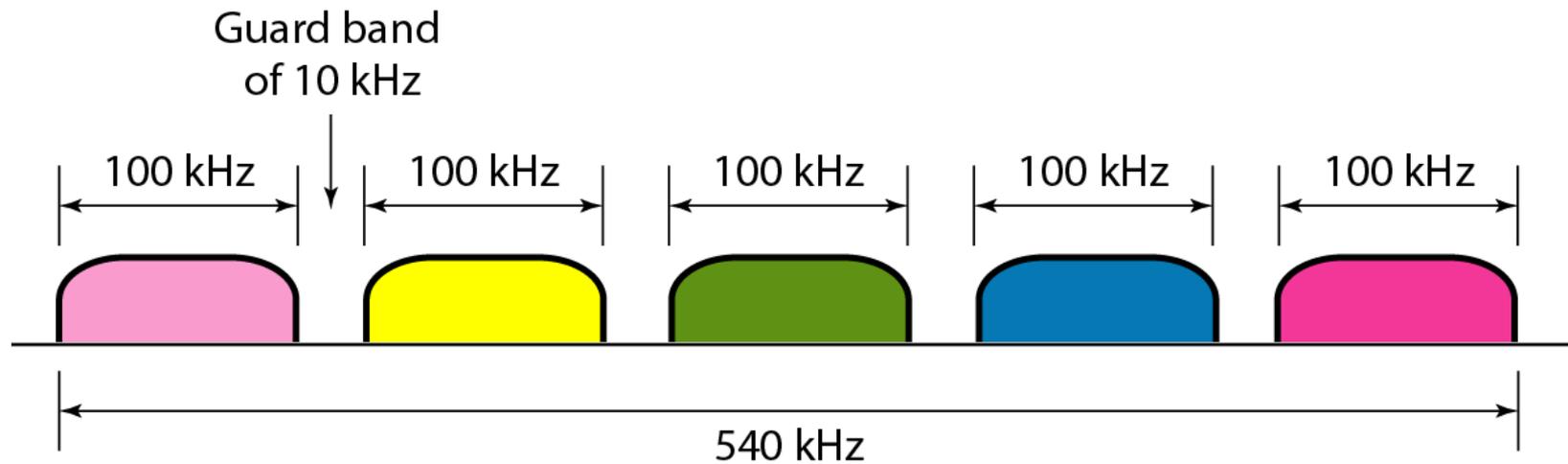
### *Solution*

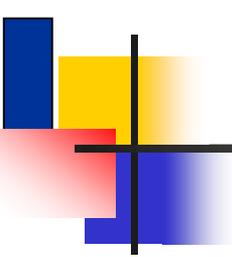
- 5개의 채널이 간섭을 피하기 위해 4개의 보호 대역이 필요
- 따라서 필요한 대역폭은 최소  $5 \times 100 + 4 \times 10 = 540 \text{ kHz}$

---

## *Example*

---





## *Example*

---

4개의 디지털 채널이 1 MHz를 사용하는 위성 링크를 이용하여 각각 1 Mbps의 전송속도로 전송한다. FDM을 사용하여 적절한 구성을 설계하라.

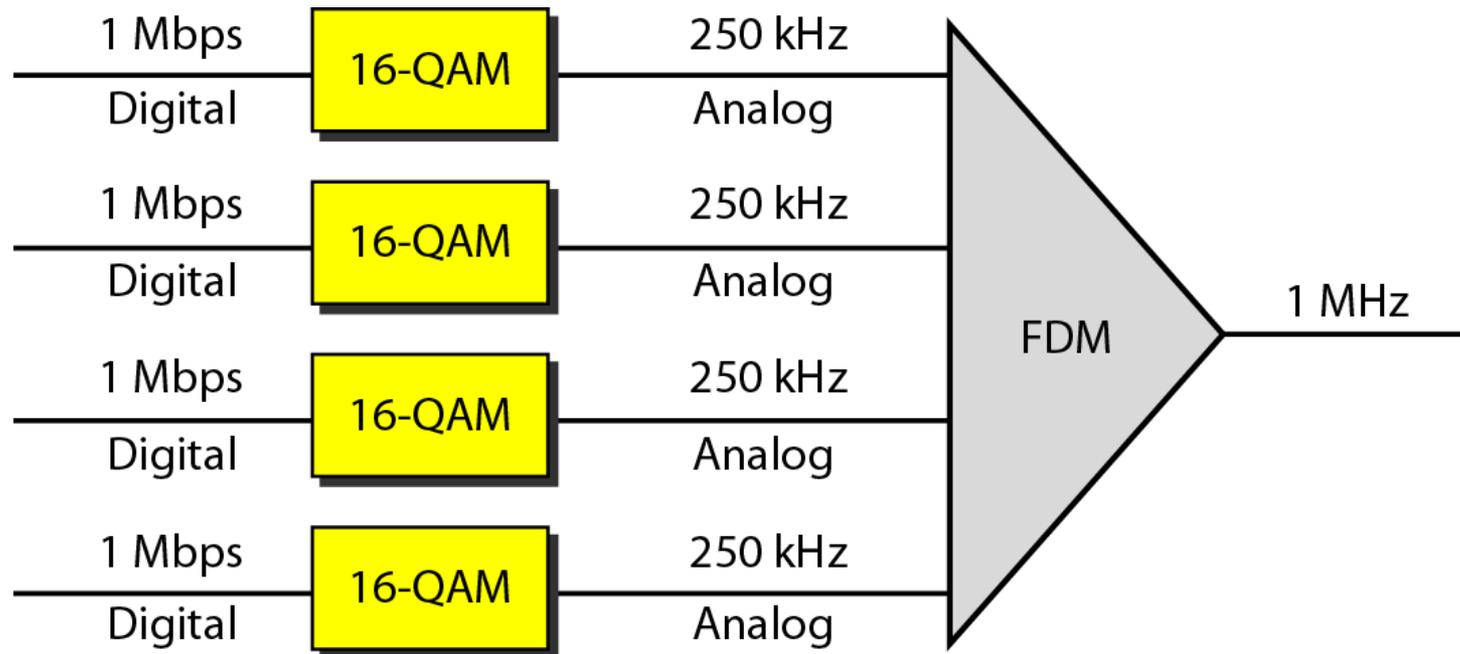
### *Solution*

- 위성 링크의 전체 대역폭을 각각 250kHz 대역폭을 갖는 4개의 채널로 나눈다.
- 1 Mbps의 디지털 채널을 4비트가 1 Hz에 해당되도록 변조
- 16-QAM 변조가 한 가지 방법이다.

---

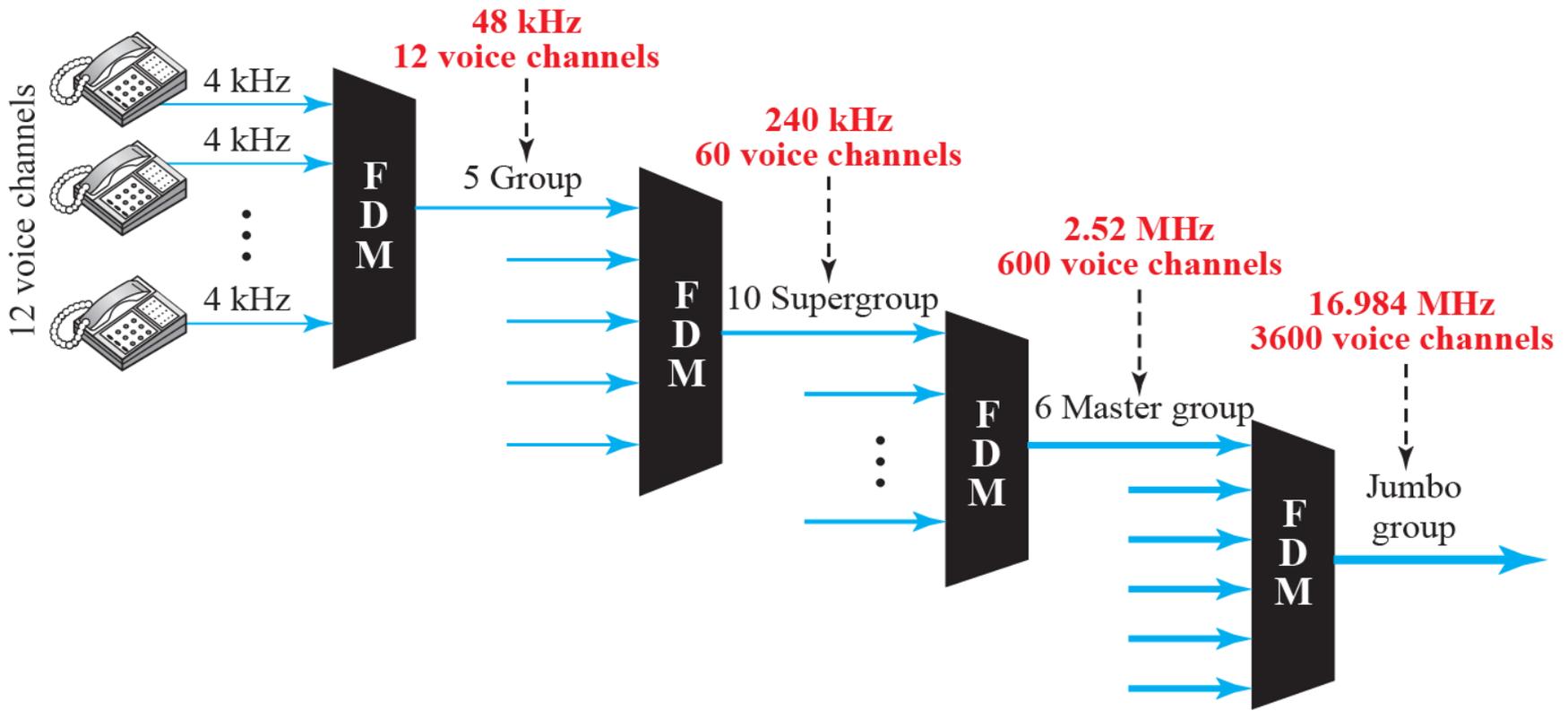
## *Example*

---



# 주파수 분할 다중화 (계속)

## □ 아날로그 계층구조



# 주파수 분할 다중화 (계속)

---

## □ FDM의 다른 응용

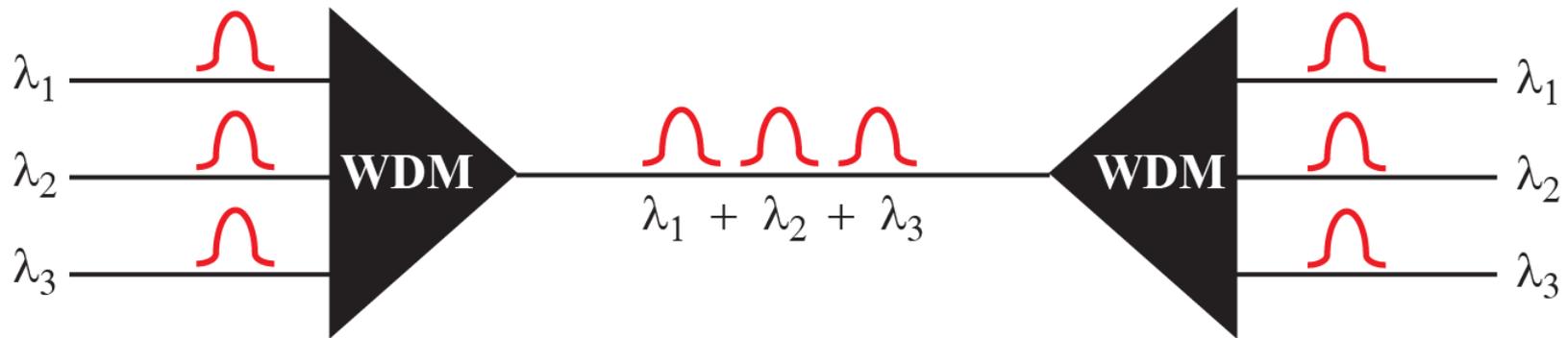
### ⇒ 라디오

- ◆ AM : 방송국당 10 kHz
- ◆ FM : 방송국당 200 kHz

### ⇒ TV : 채널당 6MHz

# 파장 분할 다중화

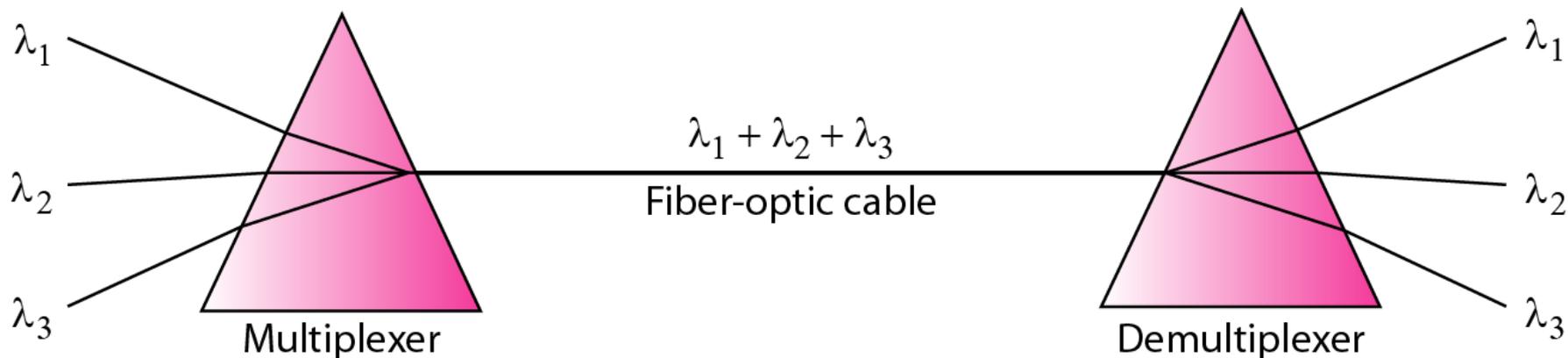
- WDM : Wavelength-division Multiplexing
- 기본 개념은 FDM과 같으며, 광섬유의 고속 전송률을 이용하기 위해 설계



# 파장 분할 다중화 (계속)

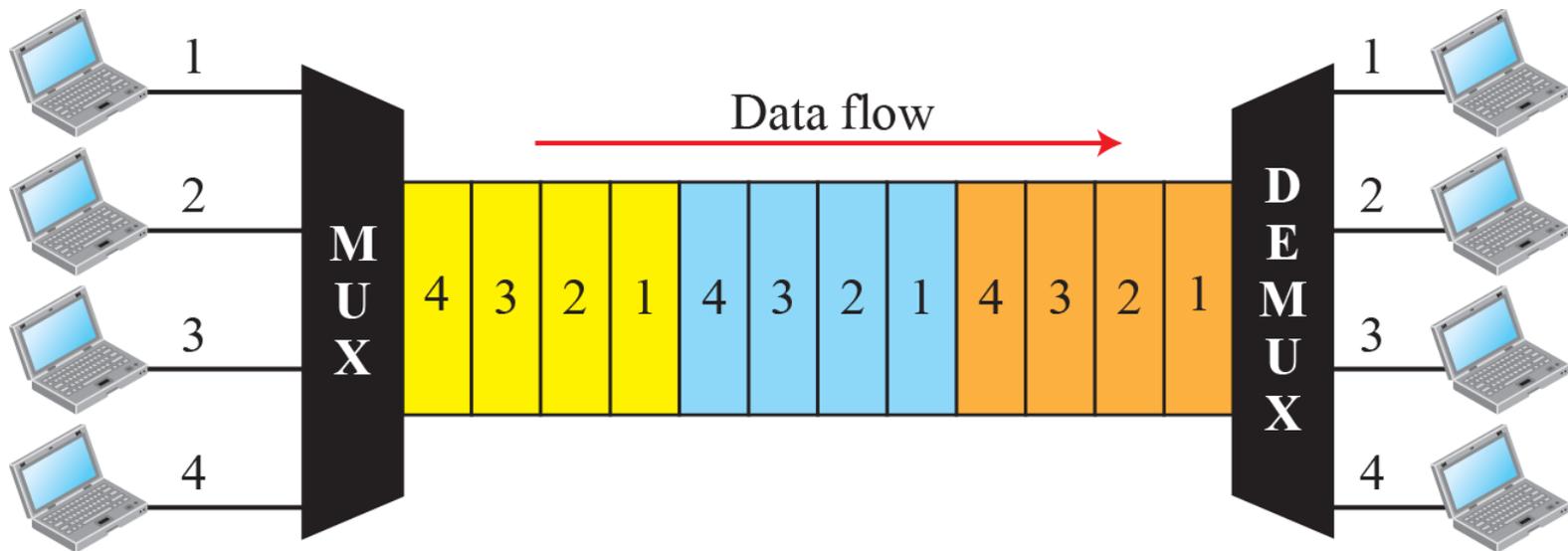
## □ WDM

- ⇒ 다중 빛 소스를 단일 빛으로 결합
- ⇒ 단일 빛은 다중 빛 소스로 분리
- ⇒ 프리즘 이용 : 임계각과 주파수 기반



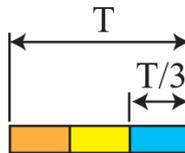
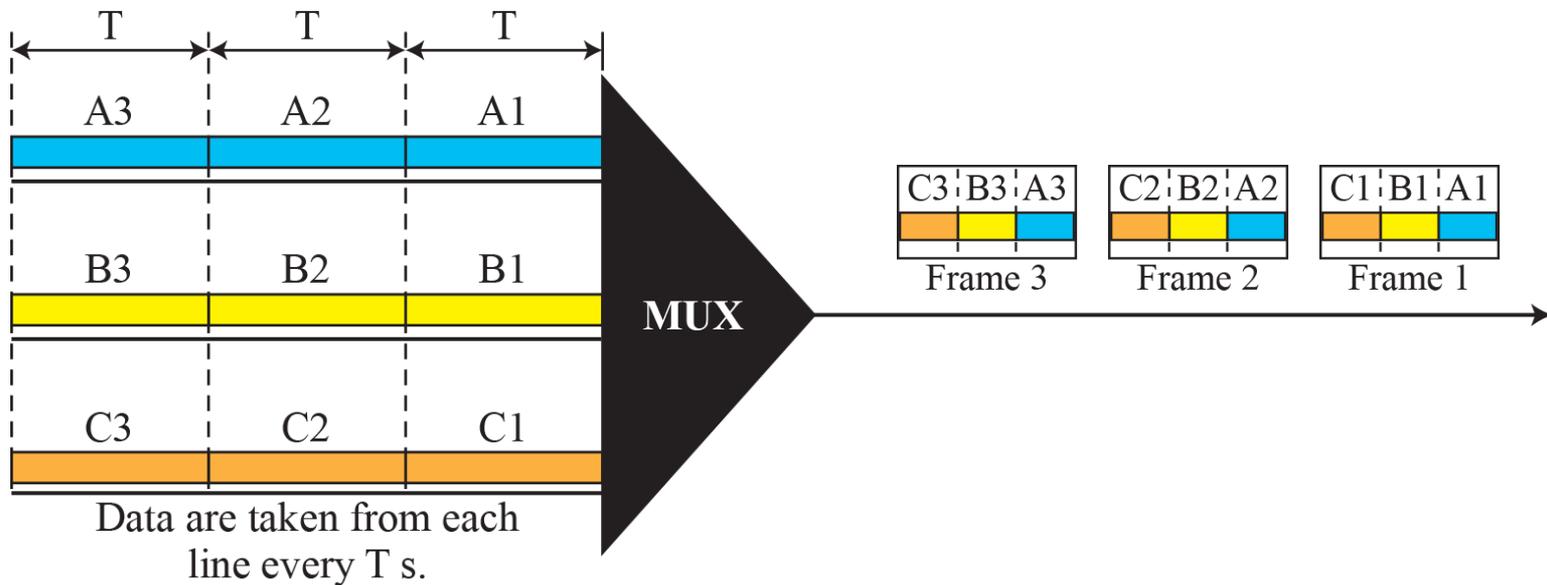
# 시분할 다중화

- 송신과 수신장치에 의해 요구되는 데이터 전송률 보다 전송 매체의 데이터 전송률이 클 때 적용되는 디지털 처리 기술

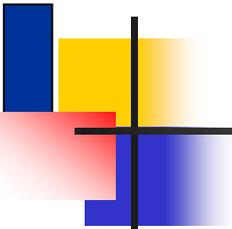


# 시분할 다중화 (계속)

## □ 타임 슬롯(time-slot)과 프레임(frame)



Each frame is 3 time slots.  
Each time slot duration is  $T/3$  s.



## *Example*

4 개의 1 kbps 연결이 다중화되고 있다. 각 단위는 1 비트이다.  
(a) 다중화 전의 1 비트의 기간, (b) 링크의 전송 속도,  
(c) 타임 슬롯의 기간, (d) 프레임의 기간을 구하라.

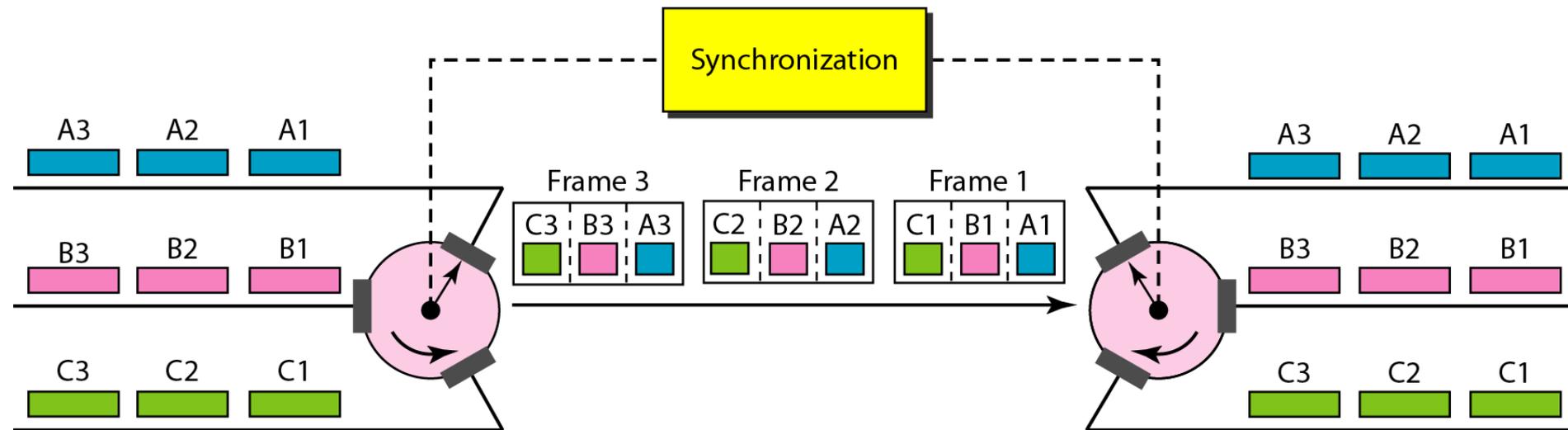
### *Solution*

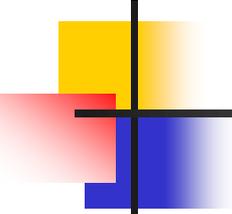
- a. 다중화 전의 1 비트의 기간 :  $1 / 1 \text{ kbps}$ 이므로  $0.001 \text{ s}$  (1 ms).
- b. 링크의 전송속도 : 각 연결에서의 전송 속도의 4 배이므로 4kbps.
- c. 각 타임 슬롯의 기간 : 다중화 전의 각 비트 기간의  $\frac{1}{4}$ 이므로  $250 \mu\text{s}$
- d. 프레임의 기간 : 각 프레임은 네 개의 타임 슬롯을 가지고 있으므로  $250 \mu\text{s}$ 의 4배인 1 ms.

# 시분할 다중화 (계속)

## □ 끼워넣기(interleaving)

⇒ 스위치가 장치들을 일정한 비율로 정해진 순서대로 이동한다.





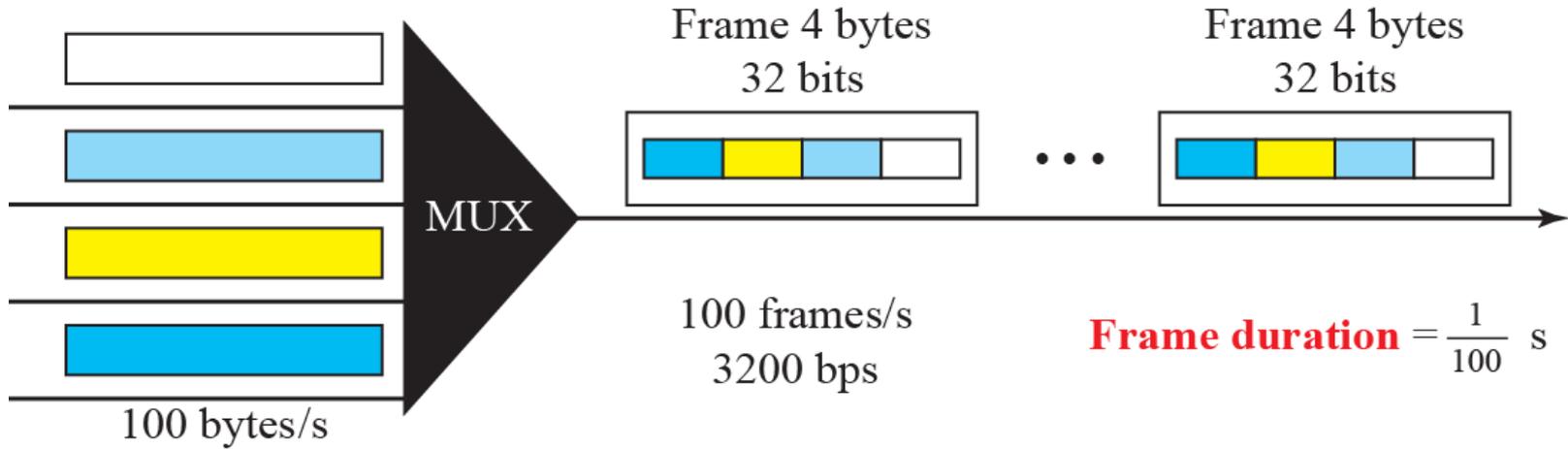
## *Example*

TDM을 사용하여 4개의 채널을 다중화 한다. 각 채널이 100 byte/s의 속도로 전송하고 각 채널마다 1 바이트씩 다중화하는 경우에 대해 프레임 크기, 프레임 기간, 프레임 속도, 링크의 비트 전송률을 보여라.

### *Solution*

- 프레임 크기 : 프레임은 각 채널로부터 1바이트씩 전송하므로 4바이트
- 프레임 속도 : 각 채널이 100 bytes/sec로 전송하며 프레임은 각 채널로부터 1 바이트씩 나르므로 매 초 100 프레임
- 프레임의 기간 : 1/100초
- 링크의 비트 전송률 : 매초 100개의 프레임을 나르며 각 프레임은 32비트이므로  $100 \times 32$  또는 3,200 bps (=400bytes/sec)  
이 속도는 실제 각 채널의 전송률인  $100 * 8 = 800\text{bps}$ 의 4배이다.

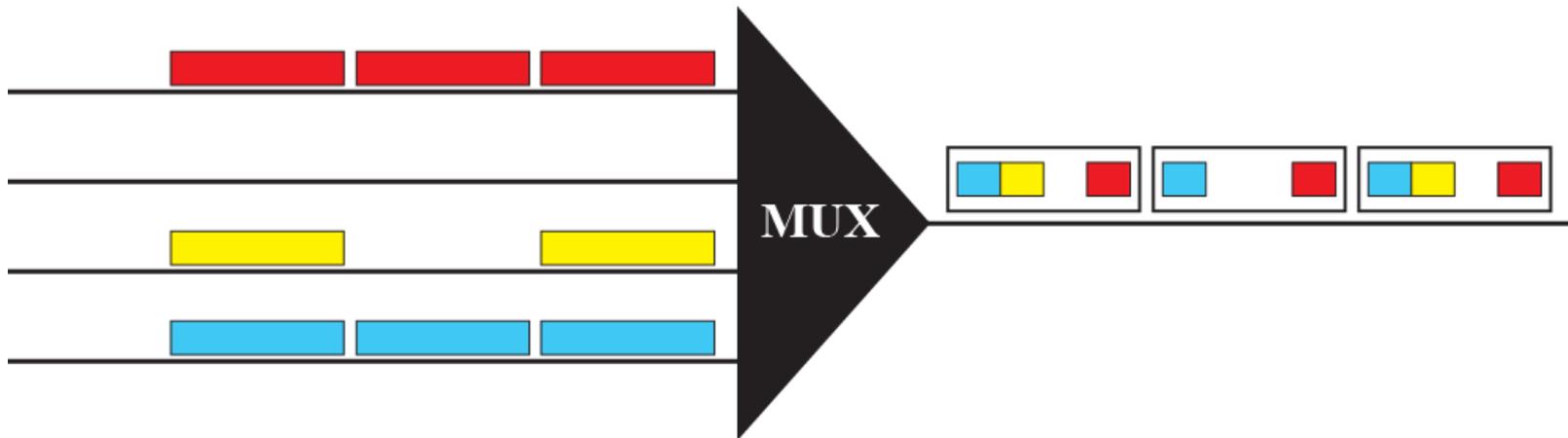
# Example



# 시분할 다중화 (계속)

## □ 빈 슬롯(Empty slots)

- 발신자가 전송할 데이터가 없다면 해당 슬롯이 비게 된다.



# 데이터 전송을 관리

---

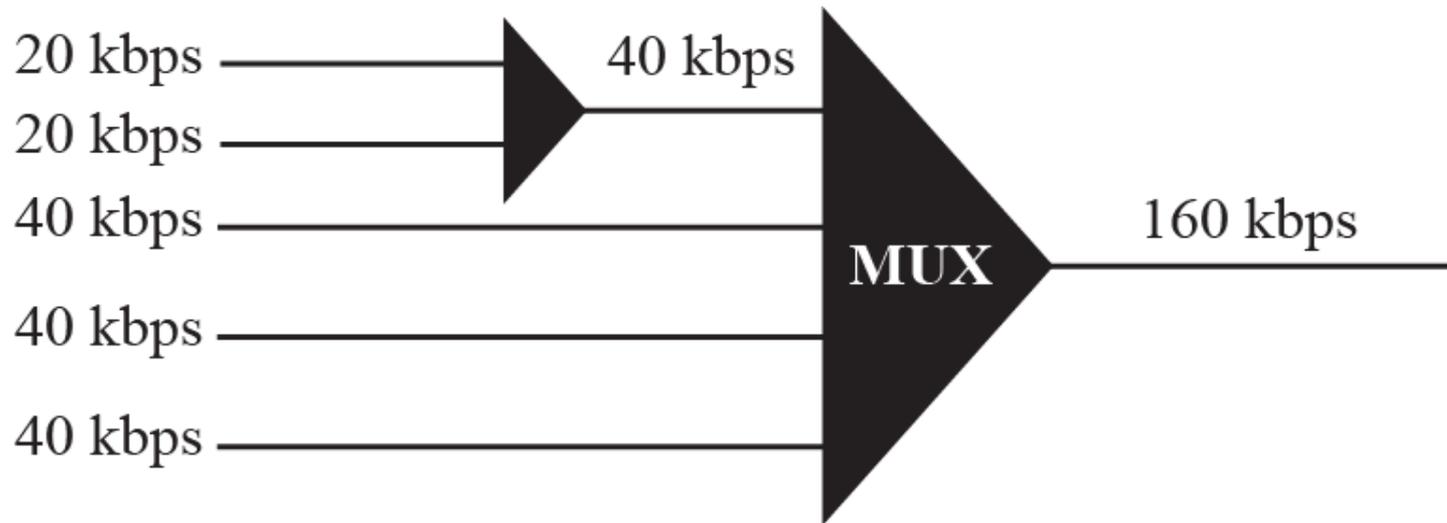
□ 입력 측 데이터율이 서로 다른 경우 해결 방법

- ① 다단계 다중화(multilevel multiplexing)
- ② 복수 슬롯 할당(multiple-slot allocation)
- ③ 펄스 채워 넣기(pulse stuffing)

# 데이터 전송을 관리 (계속)

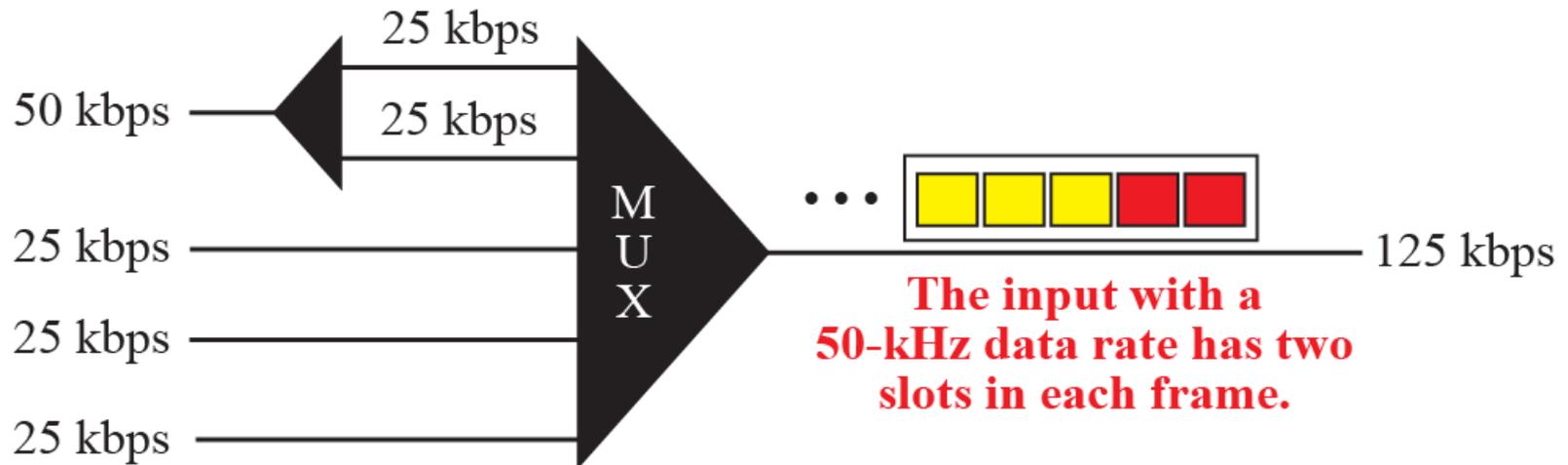
## □ 다단계 다중화

- 어느 입력의 데이터율이 다른 것들에 비해 정수 배 만큼 빠를 때 사용하는 기술



# 데이터 전송을 관리 (계속)

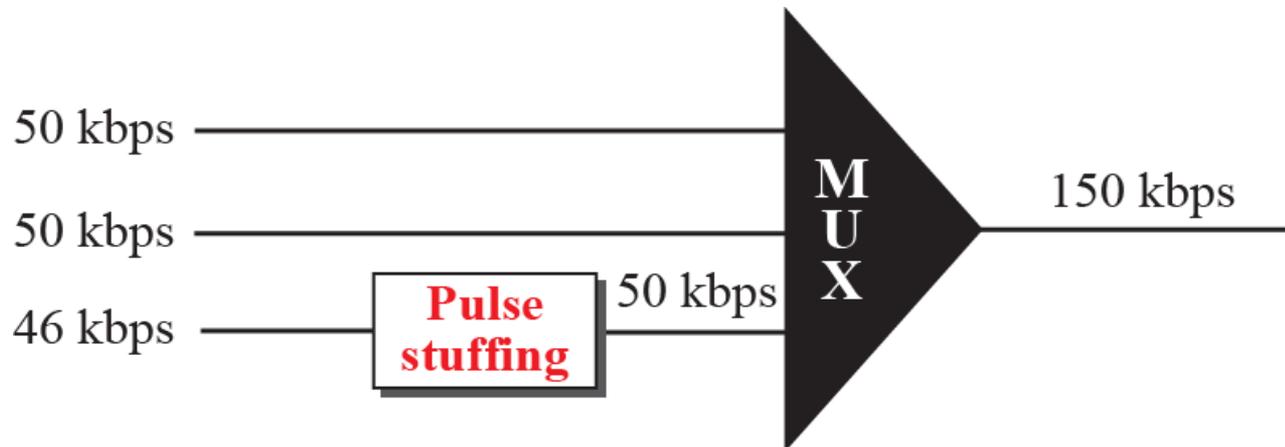
- 복수 슬롯 할당(multiple-slot allocation)
  - 입력회선에 한 개 보다 더 많은 슬롯을 할당하는 것



# 데이터 전송을 관리 (계속)

## □ 펄스 채우기(pulse stuffing)

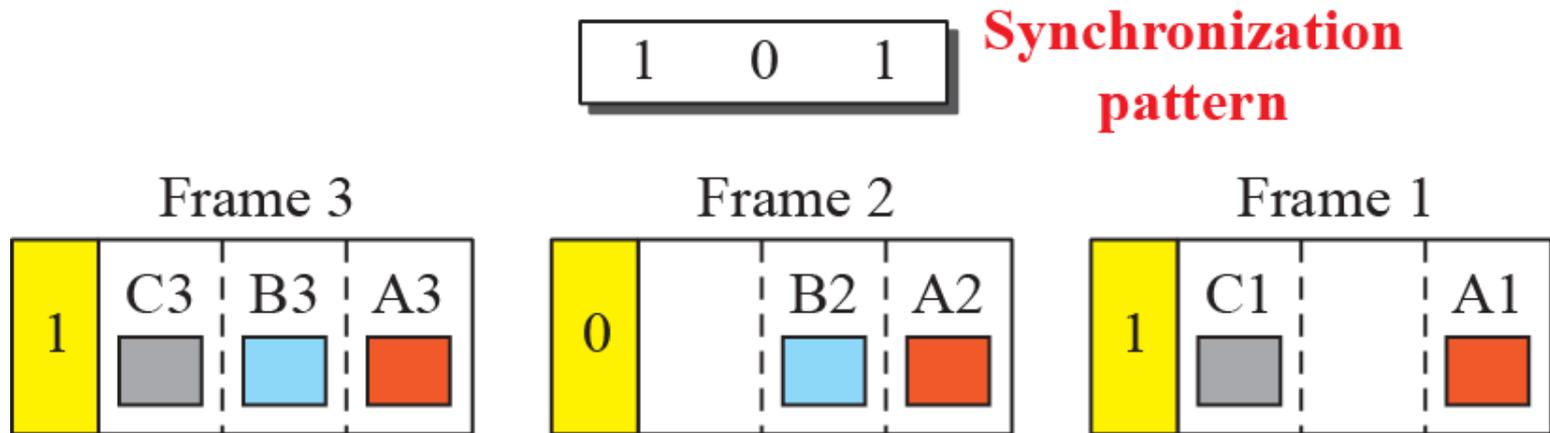
- 가장 높은 데이터 율에 맞추기 위해 공 비트를 끼워 넣는 것
- 비트 패딩, 비트 채우기 라고도 함

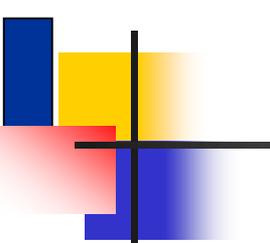


# 시분할 다중화 (계속)

## □ 프레임 동기화(Frame synchronization)

⇒ 프레임 구성비트(framing bits)



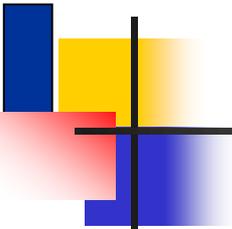


## Example

각각 매 초 250개의 문자를 생산하는 4 개의 채널이 있다. 끼워 넣는 단위가 문자이고 1 비트의 동기화 비트가 각 프레임에 더해진다면, (a) 각 채널의 데이터 전송률, (b) 각 채널의 각 문자의 기간, (c) 프레임 속도 (d) 각 프레임의 기간, (e) 각 프레임의 비트 수, (f) 링크의 전송률을 구하라.

### Solution

- a. 각 채널의 데이터 전송률 :  $250 \times 8 = 2000 \text{ bps} = 2 \text{ kbps}$ .
- b. 각 채널은 매 초 250개의 문자를 보낸다. 그러므로 문자의 기간은  $1/250 \text{ s}$  또는  $4 \text{ ms}$  이다.



## *Example (continued)*

---

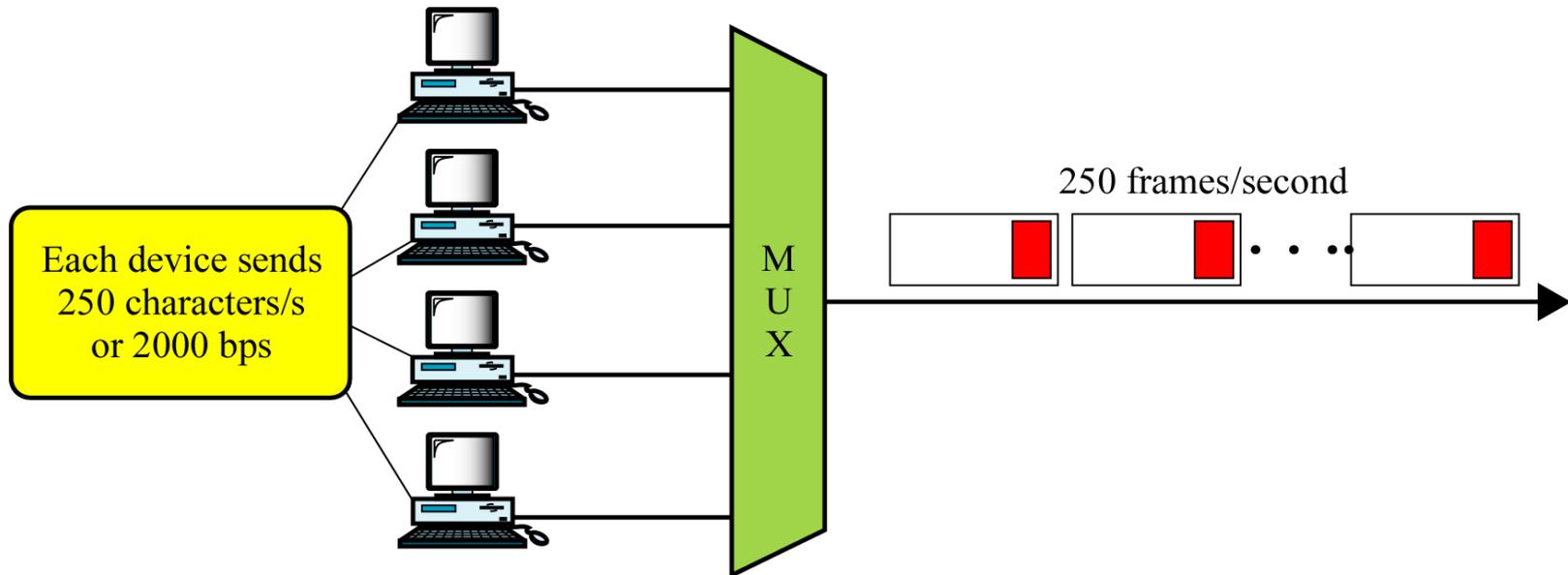
- c. 각 프레임은 각 채널로부터 하나의 문자를 받으므로 각 채널로부터의 전송 속도를 유지하기 위해서는 링크는 매초 250개의 프레임을 보내야 한다.
- d. 각 프레임의 기간 :  $1/250$ 초 또는 4 ms이다.
- e. 프레임의 비트 수 : 33비트 (4개의 문자 + 1비트의 동기화 비트)
- f. 링크의 속도 :  $2\text{kbps} * 4 + 250\text{bps}(\text{동기용}) = 8250\text{bps}$

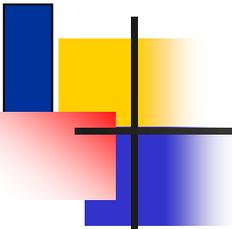
# Example (continued)

$$8250 \text{ bps} = 250 \text{ frames/second} \times 33 \text{ bits/frame}$$

or

$$8250 \text{ bps} = 4 \times 2000 \text{ bps} + 250 \text{ synchronization bps}$$





## *Example*

100 kbps의 전송률을 갖는 채널과 200 kbps의 전송률을 갖는 채널을 다중화해야 한다. 어떻게 가능하겠는가? 프레임 속도는? 프레임 기간은? 링크의 전송률은?

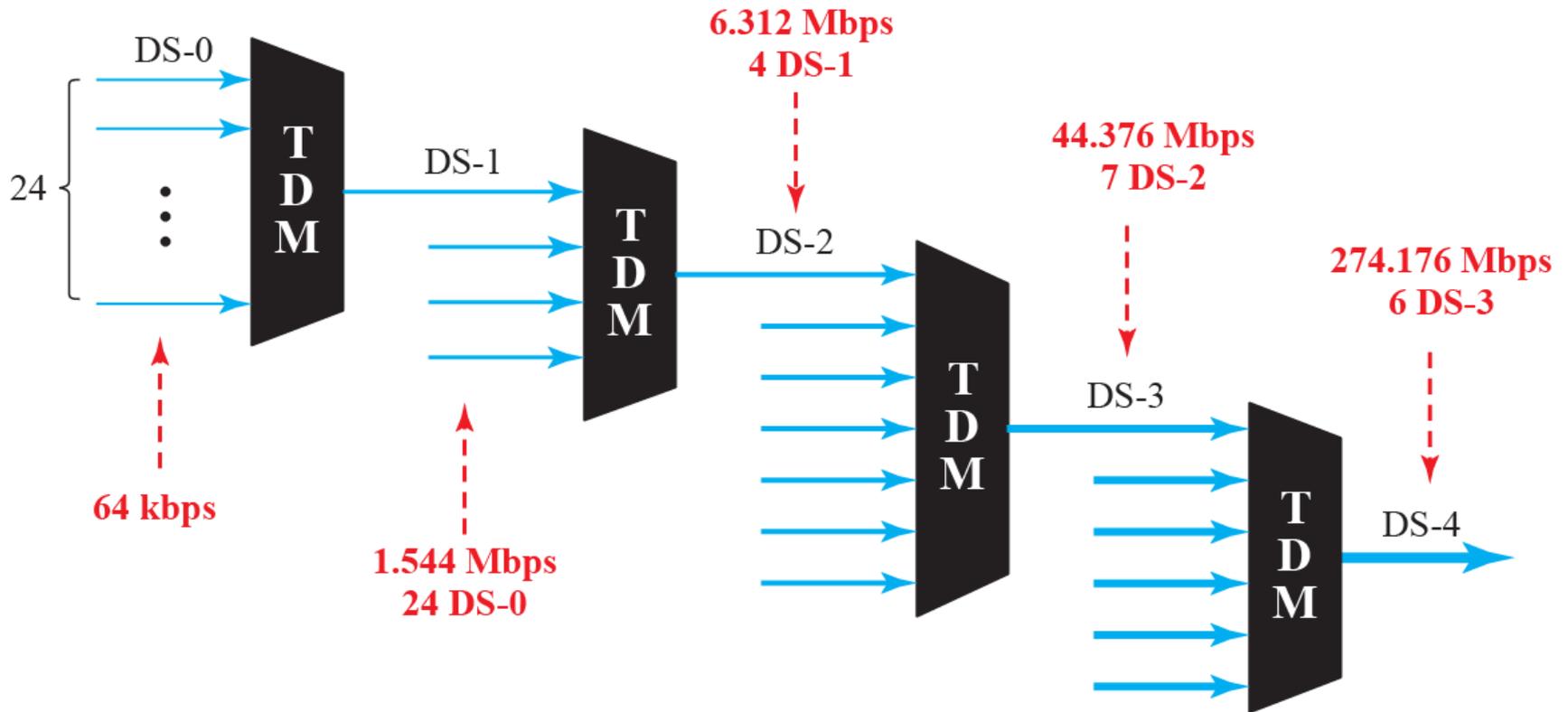
### *Solution*

- 한 개의 타임 슬롯을 첫 번째 채널에 할당
- 두 개의 슬롯을 두 번째 채널에 할당
- 각 프레임은 3 비트로 구성
- 첫 번째 채널로부터 1 비트를 나르므로 프레임 속도는 매 초 100,000 frames/s × 3 비트/프레임 또는 300 kbps이다.

# 시분할 다중화 (계속)

## □ DS (Digital Signal) 서비스

⇒ 디지털 신호의 계층 구조



# 시분할 다중화 (계속)

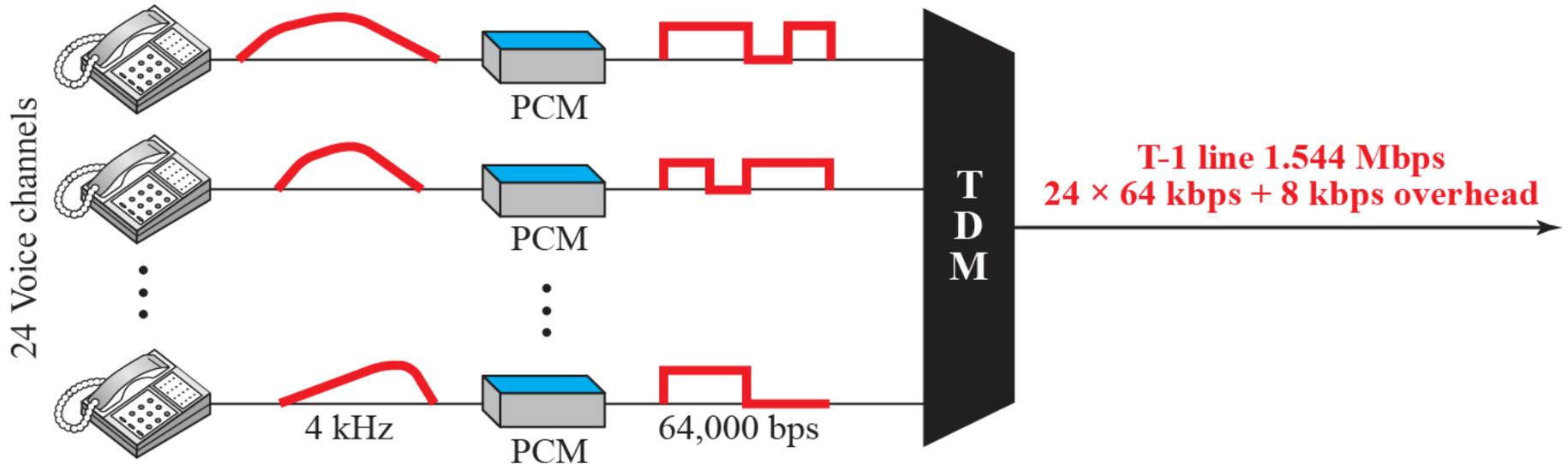
## □ DS와 T회선 전송속도

<i>Service</i>	<i>Line</i>	<i>Rate (Mbps)</i>	<i>Voice Channels</i>
DS-1	T-1	1.544	24
DS-2	T-2	6.312	96
DS-3	T-3	44.736	672
DS-4	T-4	274.176	4032

# 시분할 다중화 (계속)

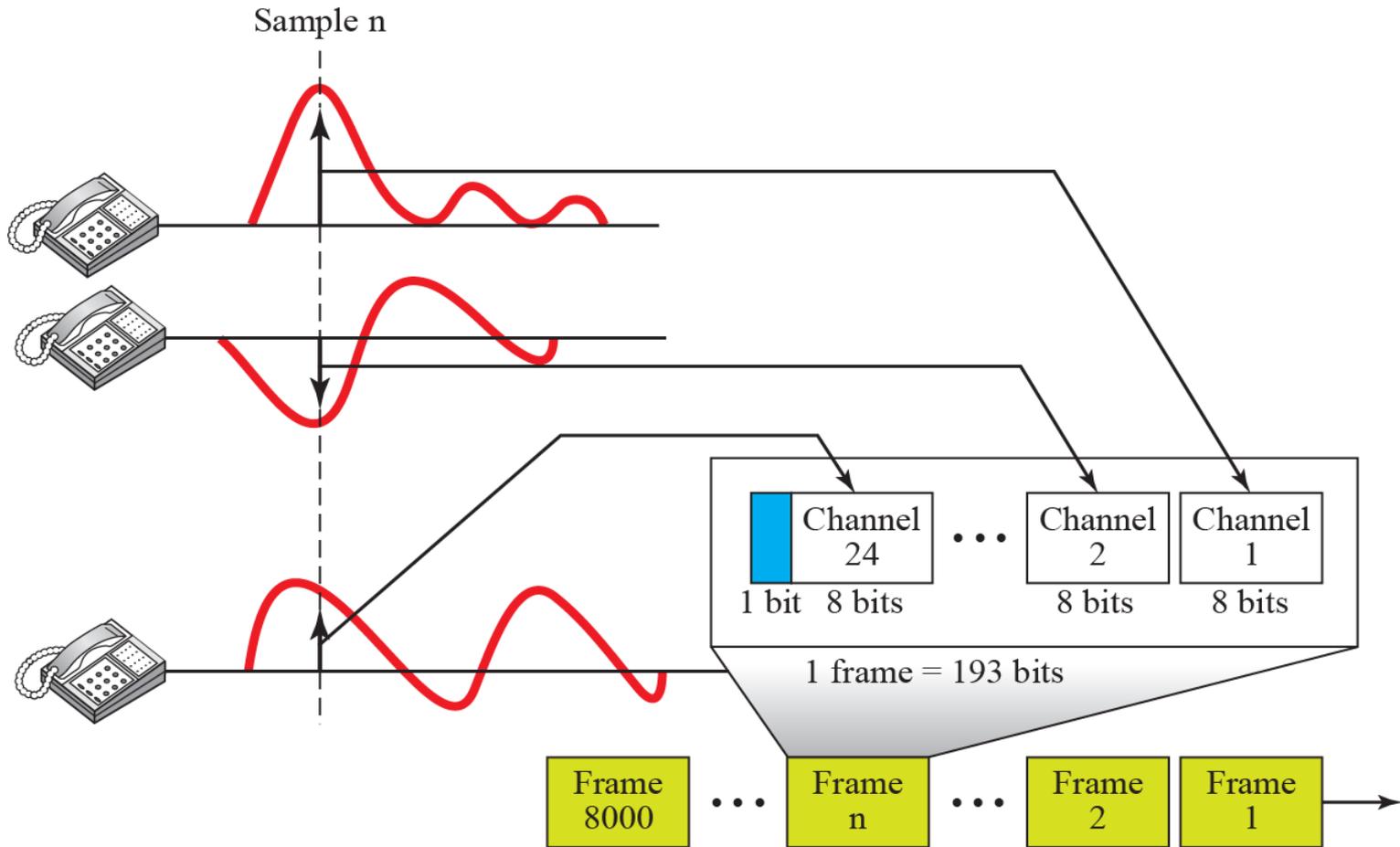
## □ 아날로그 전송용 T회선

Sampling at 8000 samples/s  
using 8 bits per sample



# 시분할 다중화 (계속)

## □ T-1 프레임 구조



**T-1: 8000 frames/s = 8000 × 193 bps = 1.544 Mbps**

# 시분할 다중화 (계속)

## □ E 회선

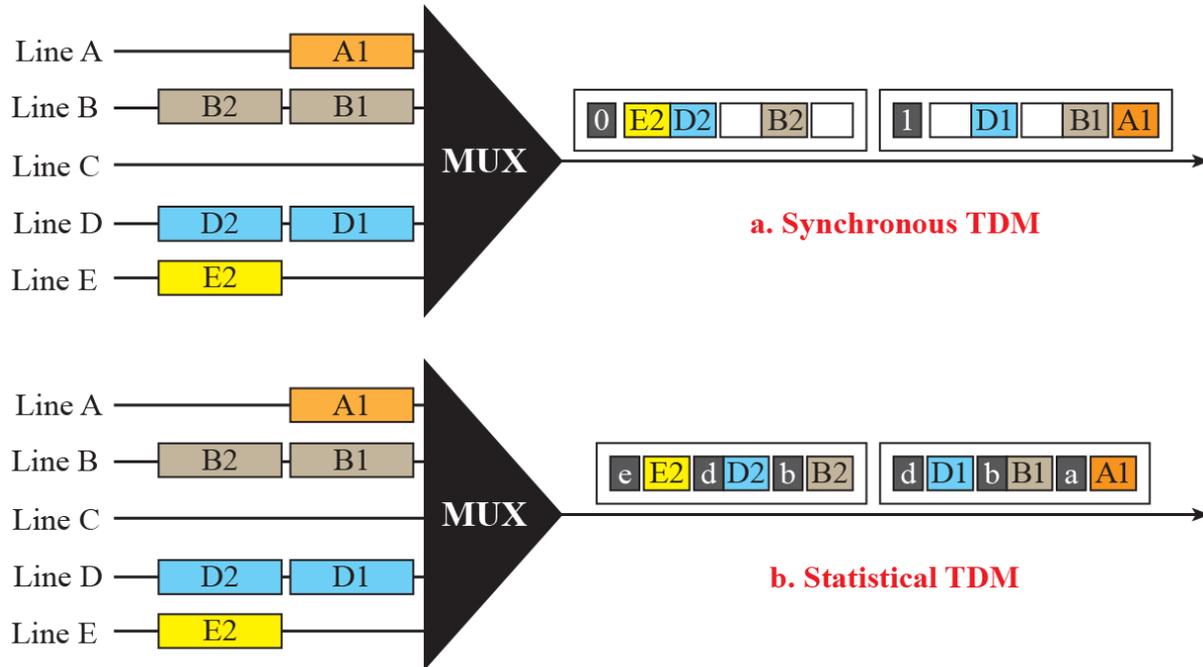
⇒ 유럽은 E 라인으로 불리는 T-라인 버전을 사용

<i>Line</i>	<i>Rate (Mbps)</i>	<i>Voice Channels</i>
E-1	2.048	30
E-2	8.448	120
E-3	34.368	480
E-4	139.264	1920

# 시분할 다중화 (계속)

## □ 통계적 TDM

### ■ TDM 슬롯(동기와 통계적) 비교



## 6.2 확산 대역 방식

---

확산 대역 방식(SS: Spread Spectrum)은 서로 다른 소스로부터 오는 신호를 보다 큰 대역폭에 맞추기 위해 조합하지만, 목적은 엿듣기와 도청을 막기 위한 것이다.

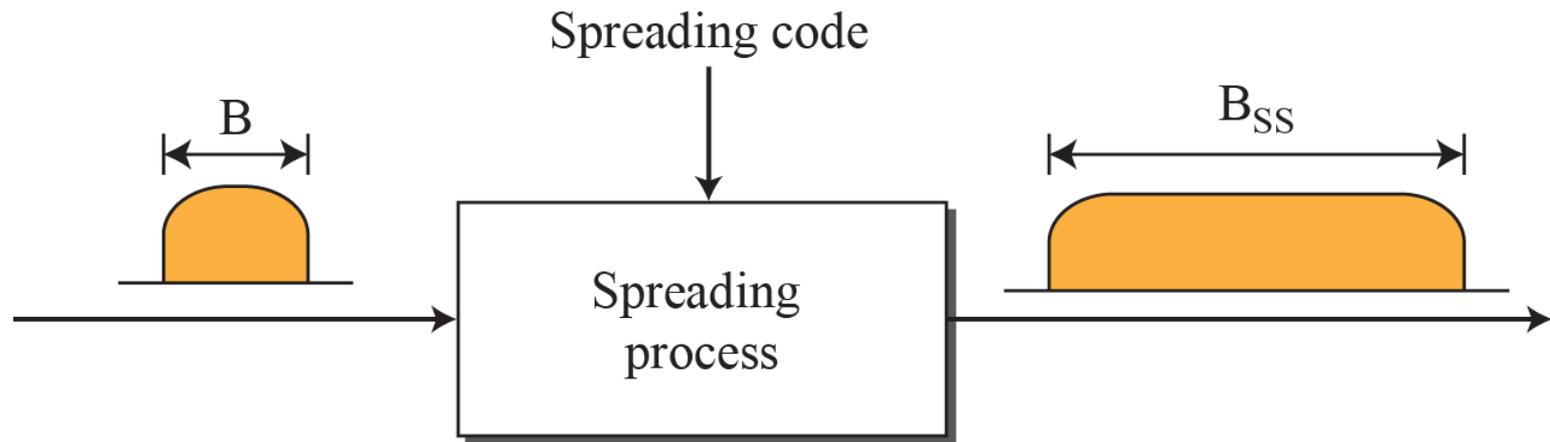
### *Topics discussed in this section:*

*Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)*

*Direct Sequence Spread Spectrum Synchronous (DSSS)*

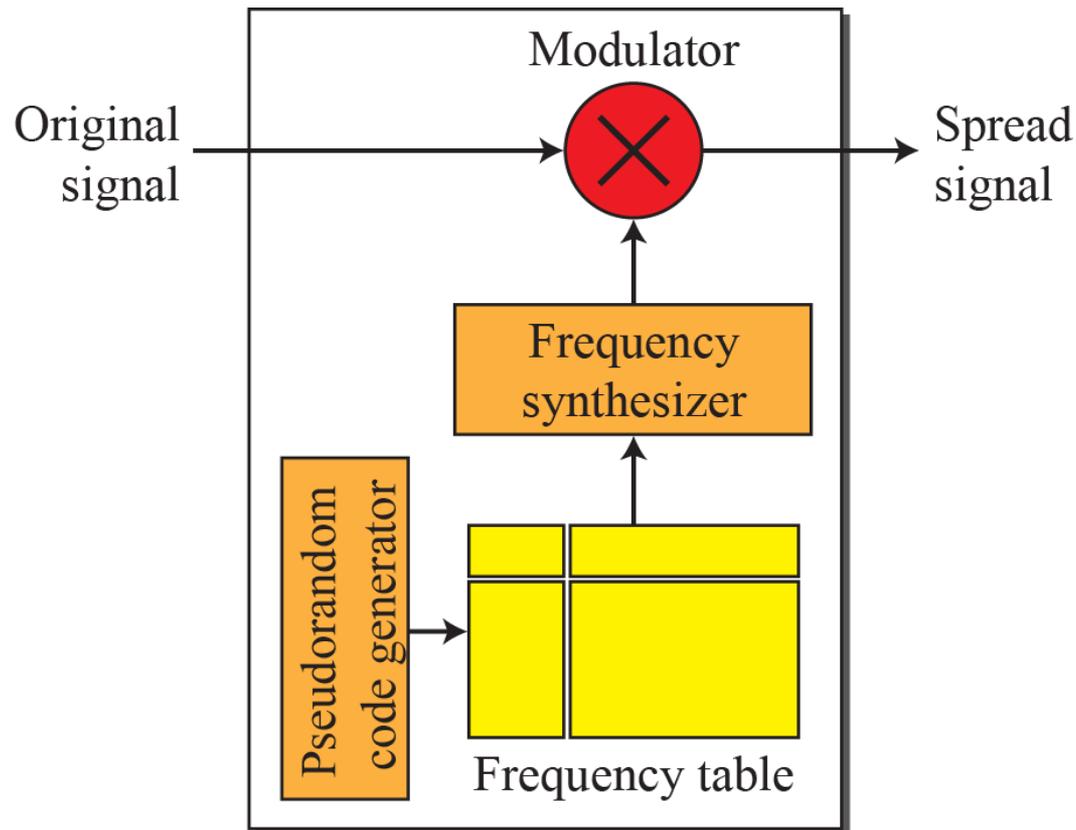
## 6.2 확산 대역 방식(계속)

- 무선 통신 응용을 위해 설계
- 여분의 정보 추가



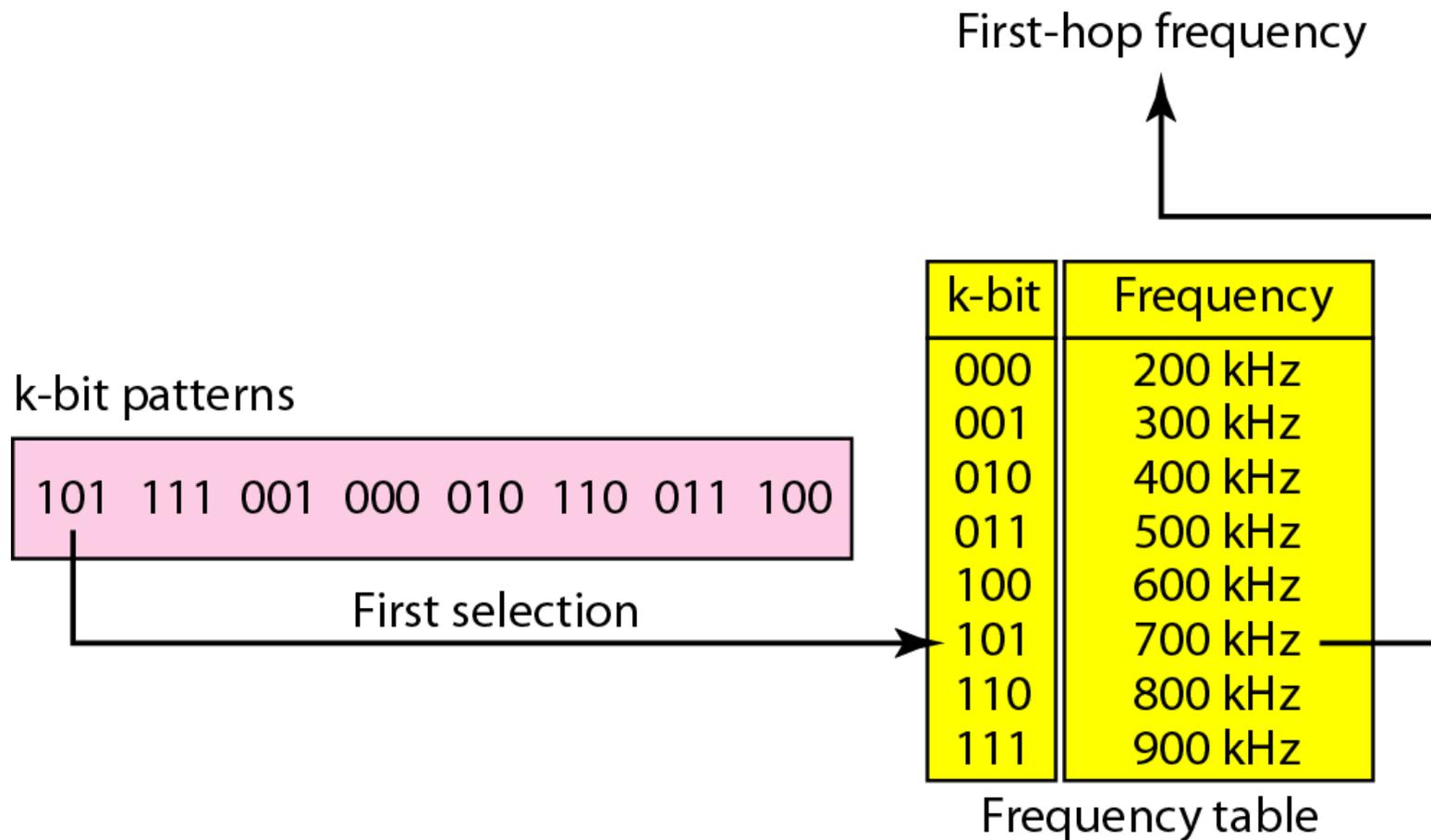
## □ FHSS: *Frequency hopping spread spectrum*

- 발신지 M개의 신호를 서로 다른 반송파를 사용하여 변조한다.



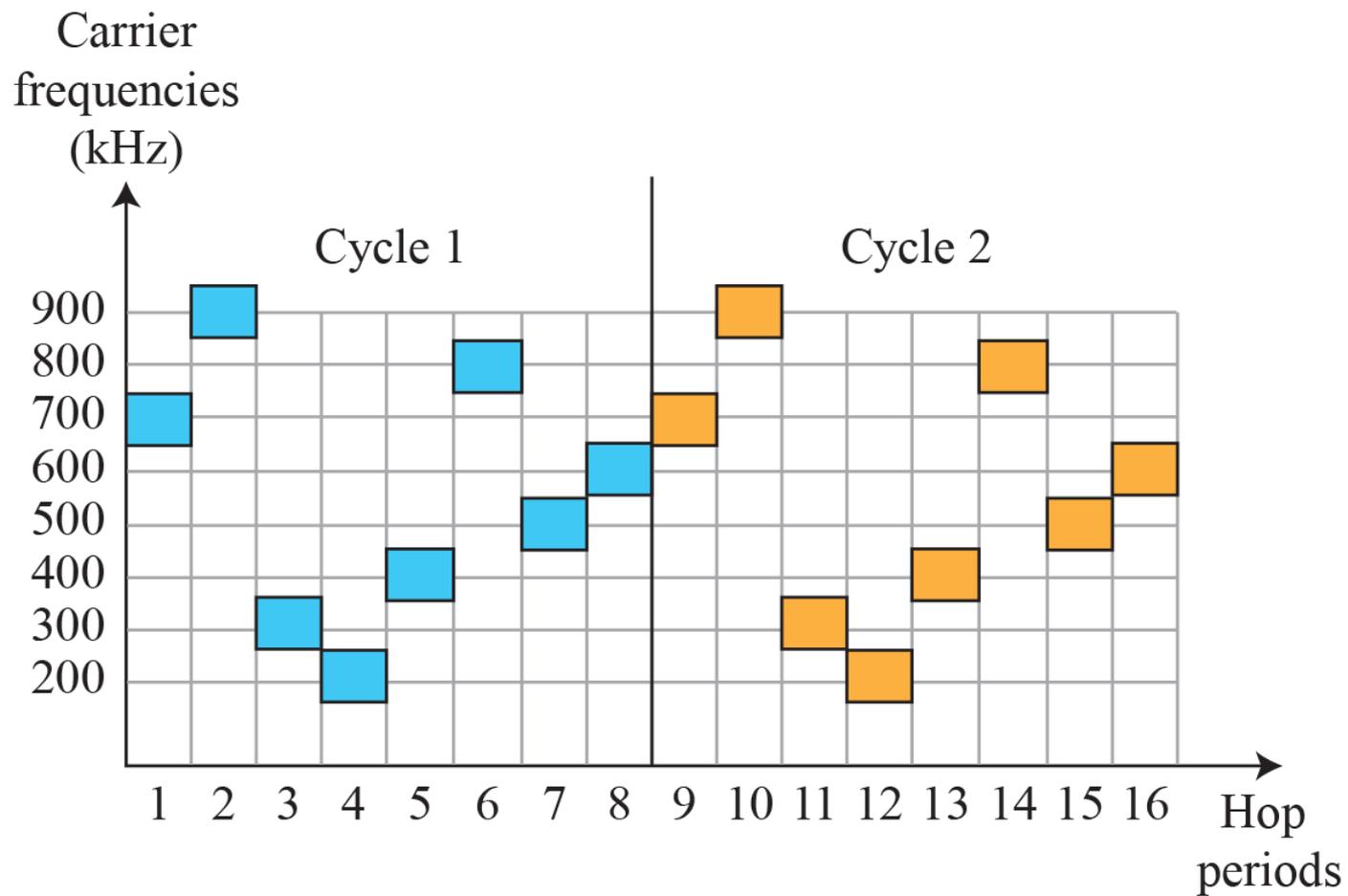
# FHSS (계속)

## □ FHSS에서 주파수 선택



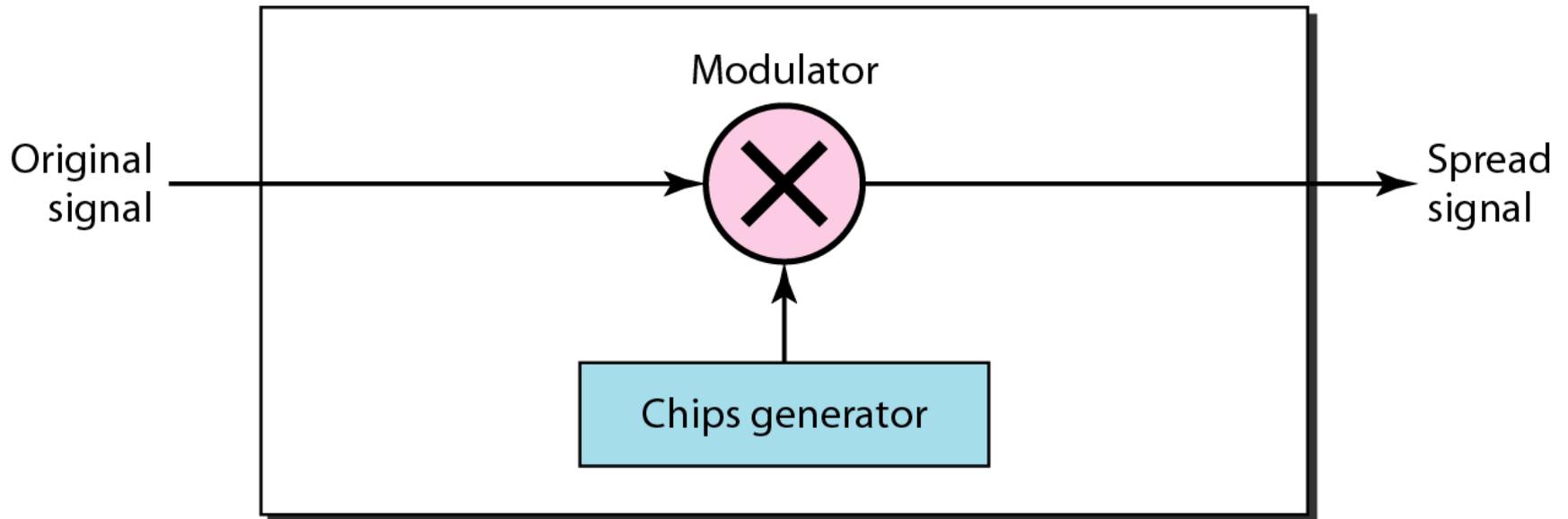
# FHSS (계속)

## □ FHSS 사이클



## □ DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum

- 각 데이터 비트를 확산코드를 사용하여 n개의 bit(실제로는 chip이라함)로 대체



# DSSS (계속)

## □ DSSS 예

